



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 11 626 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**H 03 H 21/00**

②1 Aktenzeichen: 101 11 626.8  
②2 Anmeldetag: 10. 3. 2001  
④3 Offenlegungstag: 19. 9. 2002

DE 101 11 626 A 1

⑦1 Anmelder:  
Brüggen, Marc, 44801 Bochum, DE

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Ein adaptives System zur effizienten blinden Systemidentifikation bei deterministischen Quellsignalen

⑤7 Mehrkanalsysteme mit einer Eingangsgröße und mehreren Ausgangsgrößen treten in vielen praktisch relevanten Situationen auf. Die Kenntnis der systembeschreibenden Parameter ist hierbei oft die Voraussetzung zur Umsetzung einer Aufgabe. Beispielsweise erlaubt die Kenntnis eines Systems den Entwurf eines inversen Systems und somit die Rekonstruktion der Eingangsgröße aus den Ausgangsgrößen. Vielfach sind jedoch weder die Eingangsgrößen noch Systemparameter messtechnisch zugänglich. Die Aufgabe der Identifikation des Systems wird als blinde Systemidentifikation bezeichnet, wenn zu ihrer Durchführung lediglich die Ausgangsgrößen verwendet werden. Zu dieser Aufgabenstellung sind eine Reihe von Verfahren bekannt, die jeweils (individuelle) Nachteile aufweisen. Das sogenannte Cross-Relation-Verfahren weist vor allem den Nachteil sehr hohen Speicherbedarfs und aufwendiger mathematischer Operationen auf. Entsprechende Ressourcen stehen in praktischen Anwendungen zumeist nicht zur Verfügung und verhindern einen Einsatz des Verfahrens. Die hier vorgestellte Erfindung stellt ein adaptives Verfahren zur Verfügung, das von dem Cross-Relation-Verfahren abgeleitet ist und seine Vorzüge teilt, dabei aber durch geringen Aufwand und einfache Operationen gekennzeichnet ist.

DE 101 11 626 A 1

## Beschreibung

## Anwendungsgebiet

[0001] Systeme mit einer Eingangsgröße und mehreren Ausgangsgrößen treten in Natur und Technik vielfach auf. Häufig können jedoch nur die Ausgangsgrößen gemessen werden, d. h. weder das System noch die Eingangsgrößen sind meßtechnisch zugänglich. Beispiele solcher Systeme sind die verschiedenen Übertragungswege von einer Schallquelle zu den einzelnen Orten eines Sensor-Arrays (z. B. für eine Freisprecheinrichtung) oder die Wege zu verschiedenen Orten auf der Erdoberfläche, an denen durch geologische Messungen Erschütterungen gemessen werden. Unter einfachen Voraussetzungen lassen sich die einzelnen Kanäle solcher Systeme hinreichend durch FIR-Filter approximieren. [0002] Die Kenntnis der systembeschreibenden Filterkoeffizienten erlaubt die Analyse des Systems oder den Entwurf eines inversen Systems. Im ersten Beispiel bedeutet dies, daß die Systemkenntnis einen Entzerrfilterentwurf für die (Schall-)Sensorsignale erlaubt, und im zweiten Beispiel, daß eine Analyse der Erdschichten für die geologischen Daten ermöglicht wird. Weitere Anwendungsfelder für Verfahren zur blinden Systemidentifikation sind Mobilfunkempfangseinrichtungen und komplexe Regelsysteme.

## Stand der Technik

[0003] Lösungsansätze zur blinden Systemidentifikation, d. h. zur Identifikation eines unbekannten Mehrkanalsystems unter ausschließlicher Auswertung von Ausgangsgrößen des Systems, lassen sich unterteilen in solche, die statistische Momente höherer Ordnung und solche die Momente nur zweiter Ordnung bilden und auswerten. Verfahren, die auf Momenten höherer Ordnung beruhen, weisen den Nachteil auf, daß sie in praktisch relevanten Fällen zumeist zu langsam konvergieren bzw. zu viele Beobachtungen benötigen. Im Gegensatz hierzu existiert eine Reihe von Verfahren, die ausschließliche Momente zweiter Ordnung verwenden und hierdurch schneller konvergieren. Diese sogenannten "SOS-Verfahren" unterteilen sich weiter in solche, die statistische Kenntnisse über die unbekannte Quelle voraussetzen (stochastische SOS-Verfahren), und solche, bei denen keine solchen Kenntnisse vorausgesetzt werden (deterministische SOS-Verfahren) [1]. Deterministische SOS-Verfahren sind für viele Anwendungsfälle die einzig verwendbaren.

[0004] Jedes Verfahren zur Systemidentifikation setzt eine hinreichende Komplexität der Urquelle voraus, dies gilt auch für nicht-blinde Verfahren. Die Komplexität läßt sich für kontinuierliche Quellen durch ihre (genutzte) Bandbreite quantifizieren. Unter den bekannten deterministischen Verfahren zur blinden Systemidentifikation stellt das sogenannte "Cross-Relation-Verfahren", beschrieben z. B. in [2], besonders geringe Anforderungen an die Komplexität der Quelle.

## Nachteile des Standes der Technik

[0005] Das Cross-Relation-Verfahren nimmt wegen seiner geringen Anforderungen an die Quelle eine herausragende Rolle unter den Verfahren zur blinden Systemidentifikation ein. Die praktische Umsetzung des Verfahrens ist jedoch bisher nur für Systeme sehr geringer Ordnung möglich: Zur Identifikation werden beobachtete Signalabschnitte zunächst strukturiert in einer Matrix abgelegt. Der wesentliche Identifikationsschritt erfolgt dann alternativ durch Eigenvektorzerlegung oder Singulärwertzerlegung der Matrix.

Diese Zerlegungen dienen implizit der Lösung einer restringierten Minimierungsaufgabe, wobei die Kostenfunktion aus der erstellten Matrix und den zu identifizierenden Filterkoeffizienten zusammengesetzt ist.

[0006] Diese Vorgehensweise weist folgende Nachteile auf:

- Die Verwendung von Matrizen als Speicher führt für Systeme hoher Ordnung zu großen Datenmengen.
- Die Verwendung von Matrixzerlegungen ist für Systeme hoher Ordnung nicht in hinreichend kurzer Zeit durchführbar.
- Die erforderlichen rechnerischen Operationen werden von einfachen digitalen Signalprozessoren nicht unterstützt.
- Die Bildung von Datenblöcken (Verarbeitung in Signalfenstern) behindert einen kontinuierlichen Datenfluß bzw. ist mit großen Latenzzeiten verbunden.

[0007] Diese Nachteile verhindern eine Anwendung des Verfahrens für viele praktische Einsatzgebiete.

## Literaturangaben

- [1] Tong, L. und Perreau, S.: "Multichannel blind identification: From subspace to maximum likelihood methods". Proceedings of the IEEE **86**, 1951–1968, 1998
- [2] Xu, G., Liu, H., Tong, L. und Kailath, T.: "A least-squares approach to blind channel identification". IEEE Transaction on Signal Processing **43**, 2982–2993, 1995

## Aufgabe der Erfindung

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren bereitzustellen, daß die blinde Systemidentifikation eines Mehrkanalsystems erlaubt. Hierbei soll das Verfahren die geringen Anforderungen an die Signalquelle mit dem Cross-Relation-Verfahren teilen, gleichzeitig soll es aber durch einfache rechnerische Operationen realisiert sein, so daß eine einfache Realisierung, z. B. auf digitalen Signalprozessoren, möglich ist. Weiterhin soll das Verfahren adaptiv realisiert sein und somit auf eine Blockbildung bezüglich beobachtbarer Signale verzichten.

## Lösung der Aufgabe

[0009] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren mit denen Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0010] Der Ausgangspunkt für das hier beschriebene Verfahren ist eine Kostenfunktion, deren restringierte Minimierung zur blinden Systemidentifikation führt. Dabei ist die Kostenfunktion durch das Cross-Relation-Verfahren gegeben und dadurch gekennzeichnet, daß sie einen Datenblock von beobachtbaren Signalen simultan aufnimmt und daß das Argument der Funktion am Ort des (restringierten) Minimums das identifizierte System in Form von FIR-Filterkoeffizienten angibt. Die Minimierung erfolgt für das ursprüngliche Verfahren simultan bezüglich aller Beobachtungen des Datenblocks und muß unter expliziter Berücksichtigung von Nebenbedingungen durchgeführt werden.

[0011] Unter dieser Vorgabe erfolgt die neue Lösung der Aufgabe durch folgende Schritte:

1. Neuformulierung der zur Identifikation notwendigen Optimierungsaufgabe. Die modifizierte Optimierungsaufgabe muß die Nebenbedingungen implizit berücksichtigen, so daß ein Verfahren zur unrestringierten Optimierung verwendet werden kann. Gleichzeitig

muß die modifizierte Optimierungsaufgabe zu demselben Lösungs-Argument führen, wie es durch die ursprüngliche Aufgabe gegeben war. Die zu integrierende Nebenbedingung dient dazu, die triviale Lösung für das unbekannte System auszuschließen. Daher ist eine geeignete Modifikation jede Normierung derart, daß die modifizierte Kostenfunktion sich gegenüber einer reinen Skalierung aller Filterkoeffizienten invariant verhält.

2. Anwendung eines geeigneten iterativen Optimierungsverfahrens auf die neue Optimierungsaufgabe. Dieser Schritt umfaßt insbesondere die analytische Berechnung der Suchrichtung für eine Iteration des Optimierungsverfahrens. Geeignete Optimierungsverfahren sind solche, die zur Bildung einer Suchrichtung keine Matrixoperationen benötigen, beispielsweise das Gradientenverfahren.

3. Isolieren aller Terme, die Bestandteile der Suchrichtung sind und deren Berechnung die Summation über das gesamte Zeitintervall des Datenblocks umfaßt.

4. Erstellen eines adaptiven Systems, indem die Summationen bezüglich der isolierten Terme über die Intervallgrenzen des Datenblocks durch Filterungen ersetzt werden: Die Summationen entsprechen bis auf eine Skalierung einer Zeitmittelung, die in dem adaptiven System durch Tiefpaßfilterung der entsprechenden Terme realisiert werden können. Hierdurch entfällt auch die Notwendigkeit einer Datenblock-Bildung.

5. Auffrischen des adaptiven Systems zur blinden Systemidentifikation, indem zu periodischen Zeitpunkten die isolierten und adaptiv berechneten Terme zu einer Suchrichtung verknüpft werden. Entsprechend der Suchrichtung werden die Filterkoeffizienten (d. h. das Argument der Kostenfunktion) modifiziert.

#### Vorteile der Erfindung

[0012] Das Verfahren ermöglicht die Systemidentifikation eines Systems, von dem nur die Ausgangssignale meßtechnisch erfaßt werden können. Hierbei teilt es die geringen Anforderungen an die Komplexität des Quellsignals mit dem "Cross-Relation-Verfahren". Darüberhinaus ist es aber durch einfache rechnerische Operationen realisiert, die eine Hardware-Realisierung vereinfachen. Insbesondere werden Matrizen weder zur Speicherung noch zur Berechnung benötigt. Das Verfahren arbeitet außerdem adaptiv und verzichtet auf eine Blockbildung, die einen kontinuierlichen Signalfluß behindert.

#### Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels

[0013] Für eine bevorzugte Ausführung des Systems erfolgt die Modifikation der Kostenfunktion durch Normierung mit Energien. Insbesondere kann die ursprüngliche Kostenfunktion als Summe von Fehlerenergien betrachtet werden. Jede dieser Fehlerenergien ist durch die Energie eines Differenzsignals gegeben. Für ein Signalpaar  $\{y_i(n), y_j(n)\}$  ist die Fehlerenergie durch eine Summation über  $e^2(n) = [y_i(n) - y_j(n)]^2$  gegeben, wobei die Signale  $\{y_i(n), y_j(n)\}$  am Ausgang der systemidentifizierenden Filter auftreten. Für jedes Signalpaar wird daher eine Normierung mit der Summe der Ausgangssignaleenergien der zwei beteiligten Signale vorgenommen.

[0014] Als Optimierungsstrategie wird das Gradientenverfahren zu Grunde gelegt, daher muß für eine Suchrichtung zur Minimierung lediglich der Gradient der modifizierten Kostenfunktion berechnet werden. Für jeden Filterkoeffizienten ergibt sich ein Ausdruck, der aus Summen zusammengesetzt ist. Jede der Summationen wird für das Ausführungsbeispiel durch eine rekursive Filterung erster Ordnung ersetzt. In gleicher Weise werden auch die Summationen zur Energieberechnung durch rekursive Filterung ersetzt. Zu periodischen Zeitpunkten werden die aktuellen Werte am Ausgang der rekursiven Filter abgerufen und zu einer Suchrichtung verknüpft. Entsprechend der Suchrichtung werden die systemidentifizierenden Filter dann geändert.

[0015] In Abb. 1 ist schematisch dargestellt, wie das System praktisch realisiert werden kann.

#### Schematische Darstellung zum Ausführungsbeispiel für das adaptive System zur Systemidentifikation

[0016] Einer Einheit (1) von systemidentifizierenden adaptiven Filtern (2) werden die beobachtbaren Signale zugeführt. Die systemidentifizierenden Filter erzeugen die zur Bildung von Kreuzbeziehungen notwendigen Ausgangssignale. Zum späteren Zugriff werden die Ausgangssignale Verzögerungsleitungen (3) zugeführt. Eine Recheneinheit (4) berechnet für jede Kreuzbeziehung die notwendigen Differenzsignale. Gespeicherte bzw. aktuelle Werte aus den Einheiten (1), (4) und (3) werden der Filtereinheit (5) zugeführt. Hier werden die einzelnen Werte entsprechend der Optimierungsvorschrift zu Summanden geformt und rekursiv gefiltert. Für die rekursive Filterung erster Ordnung muß pro Summand nur ein Wert in den Speichern (6) gehalten werden. Die Recheneinheit (7) ruft zu periodischen Zeitpunkten die Speicherwerte (6) ab und bildet eine Suchrichtung. Entsprechend der Suchrichtung werden die adaptiven Filter (2) geändert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur blinden Systemidentifikation auf der Basis des Cross-Relation-Verfahrens, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zur Identifikation zu lösende Optimierungsaufgabe durch ein adaptives System gelöst wird.
2. Ein Verfahren nach Anspruch 1, wobei dem adaptiven System eine dem Cross-Relation-Verfahren äquivalente unrestringierte Optimierungsaufgabe zugrunde gelegt wird.
3. Ein Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein iteratives Optimierungsverfahren zugrunde gelegt wird.
4. Ein Verfahren nach Anspruch 1, wobei Matrixoperationen für das adaptive System verhindert werden, indem ein Optimierungsverfahren zugrunde gelegt wird, das für die Bildung eines Optimierungsschrittes keine Matrixoperation erfordert.
5. Ein Verfahren nach Anspruch 1, weiter umfassend: Bildung einer adaptiven Funktionsweise, indem statt Blockberechnungen Filterungen eingesetzt werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

**E Abbildungen**

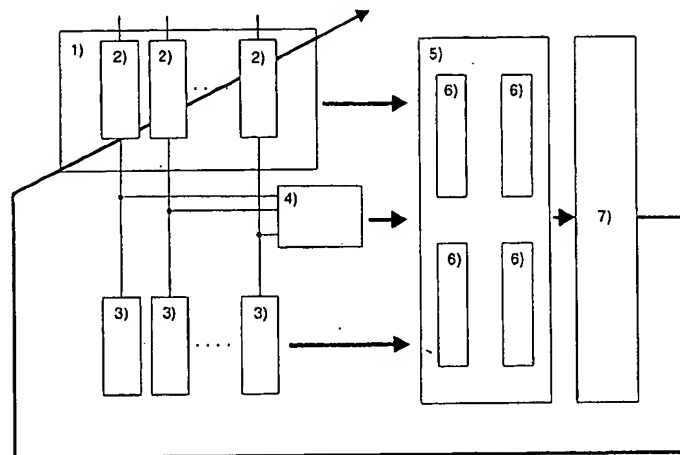


Abbildung 1:

Schematische Darstellung zum bevorzugten Ausführungsbeispiel.

PUB-NO: DE010111626A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 10111626 A1

TITLE: Blind system identification using  
deterministic source signals involves using cross-relation  
method in adaptive system with iterative optimization  
technique and no matrix operations

PUBN-DATE: September 19, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
BRUEGGEN, MARC	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
BRUEGGEN MARC	DE

APPL-NO: DE10111626

APPL-DATE: March 10, 2001

PRIORITY-DATA: DE10111626A ( March 10, 2001)

INT-CL (IPC): H03H021/00

EUR-CL (EPC): H03H021/00

ABSTRACT:

CHG DATE=20030114 STATUS=N>The method involves  
performing blind system  
identification on the basis of the cross-relation method.

The optimization task required for identification is conducted by an adaptive system. An iterative optimization technique can be used and no matrix operations are required. Filtering is used instead of block computations.